

CORRECTION OF RAMAN EFFECT BY PUMPING IN MULTIWAVELENGTH TRANSMISSION SYSTEM

Patent number: JP2001027770
Publication date: 2001-01-30
Inventor: BIGO SEBASTIEN; HAMAIDE JEAN-PIERRE;
GAUCHARD STEPHANE
Applicant: CIT ALCATEL
Classification:
- **international:** H04B10/18; H04B10/18; (IPC1-7): G02F1/35;
H01S3/06; H01S3/10; H01S3/30; H04B10/16;
H04B10/17; H04J14/00; H04J14/02
- **european:** H04B10/18C
Application number: JP20000171012 20000607
Priority number(s): FR19990007324 19990610

Also published as:
EP1059747 (A)
FR2796783 (A)
CA2309789 (A)

[Report a data error](#)

Abstract of JP2001027770

PROBLEM TO BE SOLVED: To correct tilt in the spectral gain caused by amplification by the induced Raman effect, by selecting the wavelength and power of a pump so as to correct the tilt caused by the amplification by the induced Raman effect in the signal in a specified frequency range. **SOLUTION:** The system is equipped with a fiber in which signals propagate in 1535.04 to 1559.79 nm wavelength range, and a means to inject at least one pumping light having a shorter wavelength than the above range into the fiber, and the wavelength and power of the pump are selected to correct the tilt in the signal in a specified frequency range caused by the amplification by the induced Raman effect. Namely, the amplification gain by the induced Raman effect caused by pumping is selected so as to correct the tilt caused by the Raman effect on a plurality of channels, and the power of pumping is controlled to correct the tilt caused by the amplification by the induced Raman effect in the first channel.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-27770

(P 2001-27770 A)

(43) 公開日 平成13年1月30日 (2001.1.30)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード (参考)
G02F 1/35	501	G02F 1/35	501
H01S 3/06		H01S 3/06	B
3/10		3/10	Z
3/30		3/30	
H04B 10/17		H04B 9/00	J
		審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 5 頁)	最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-171012 (P 2000-171012)

(22) 出願日 平成12年6月7日 (2000.6.7)

(31) 優先権主張番号 9907324

(32) 優先日 平成11年6月10日 (1999.6.10)

(33) 優先権主張国 フランス (FR)

(71) 出願人 391030332
アルカテル
フランス国、75008 パリ、リュ・ラ・ボ
エティ 54
(72) 発明者 セバスチヤン・ビゴ
フランス国、91120・パレゾー、リュ・サ
ント・ジュヌビエーブ、17
(72) 発明者 ジャン-ピエール・アマイド
フランス国、91180・サン・ジエルマン・
レ・アルバジョン、リュ・ドユ・ドクトー
ル・エル・ババン、46・ビス
(74) 代理人 100062007
弁理士 川口 義雄 (外3名)
最終頁に続く

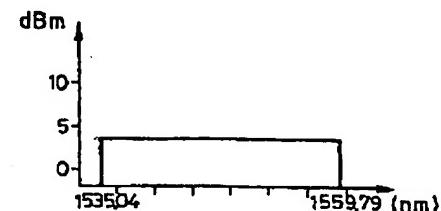
(54) 【発明の名称】波長多重型伝送システムにおけるポンピングによるラマン効果の補正

(57) 【要約】

【課題】 誘導ラマン効果による増幅により引き起こされる多重の種々のチャネル間の利得の変化、より厳密には利得の傾斜を補正する。

【解決手段】 ポンプのラマン利得が傾斜を補正することができるよう、多重のチャネル波長より短い波長で1つまたは複数のポンプを伝送システム内に注入する。

FIG_2



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバによる波長多重型伝送システムであって、波長の範囲内で信号が伝播されるファイバと、前記範囲より短い波長で少なくとも1つのポンプをファイバ内に注入する手段とを備え、ポンプの波長とパワーとが、前記の周波数範囲内で信号における誘導ラマン効果による増幅に起因して発生する傾斜を補正するように選択される伝送システム。

【請求項2】 前記の波長の範囲の最も短い波長とポンプの波長との差が、10から15THzの間であること 10 を特徴とする請求項1に記載のシステム。

【請求項3】 注入手段が、前記信号の伝播方向にポンプを注入することを特徴とする請求項1または2に記載のシステム。

【請求項4】 注入手段が、前記信号の伝播方向とは逆方向にポンプを注入することを特徴とする請求項1または2に記載のシステム。

【請求項5】 光ファイバによる波長多重型伝送システムの信号の波長より短い波長で少なくとも1つのポンプをファイバ内に注入することを含む、ファイバ中の前記 20 信号の伝播の間の前記信号における誘導ラマン効果による増幅に起因して発生する傾斜を補正するための方法。

【請求項6】 前記信号の最も短い波長とポンプの波長との差が10から15THzの間であることを特徴とする請求項5に記載の方法。

【請求項7】 前記信号の伝播方向にポンプが注入されることを特徴とする請求項5または6に記載の方法。

【請求項8】 前記信号の伝播方向とは逆方向にポンプが注入されることを特徴とする請求項5または6に記載の方法。 30

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光ファイバによる伝送の分野、特に光ファイバによる波長多重型伝送の分野に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 波長の多重化によって、光ファイバによる伝送システムの容量を著しく増大させることができるようになった。しかしながら、ラマン効果またはより厳密には、誘導ラマン効果（SRS、英語の「Stimulated Raman Scattering」の頭字語）による増幅は大きな制限となる。この効果は、たとえば、G. P. Agrawalの「Nonlinear Fibre Optics—非線形光ファイバ」、Academic Press 1980に記載されている。波長多重型伝送システムについては、ラマン効果は、利得の偏移または伝送後のスペクトルの傾斜（英語では「tilt」）を引き起こす。いいかえれば、伝播の始まりにほぼ同じパワーの複数のチャネルを有するスペクトルは、伝播後にラマン効果によって、より短い波

長のチャネルについて、より低いパワーを有することになる。この問題に対する従来の解決策は、使用する増幅器の利得を適合させるという方法である。しかしながら、この方法は、可能な補正範囲において限定されてしまう。

【0003】 N. Zirngiblによる「Analytical model of Raman gain effects in massive wavelength division multiplexed transmission systems—大量波長分割多重型伝送システムにおけるラマン利得効果の分析モデル」、Electronics Letters, vol. 34 No. 14 (1998)、pp. 789-790は、誘導ラマン効果による増幅によって生じたスペクトルのひずみが、パワーのスペクトル分布によってではなく、注入された総パワーによってのみ左右されることを示す、ラマン利得効果のモデルを提案している。

【0004】 スペクトルのこの傾斜は、たとえばS. Bigo等による「Investigation of stimulated Raman scattering on WDM structures over various types of fiber in infrastructures—多種のファイバインフラ上のWDM構造における誘導ラマン散乱の研究」、OFC'99 paper WJ7、1999年2月21-26号に記載されている。この論文は、誘導ラマン効果による増幅効果を測定しているが、上記の問題に対する解決策は提案していない。

【0005】 D. N. Christodoulides及びR. B. Janderによる「Evolution of Stimulated Raman Cross talk in Wavelength Division Multiplex Systems—波長分割多重システムにおける誘導ラマン混信の推移」、IEE Photonics Technology Letter, vol. 8 No. 12, 1996年1月号、pp. 1722-1724は、波長多重型伝送システムの種々のチャネル間でラマン効果によって引き起こされた混信のデジタルシミュレーションを提案している。この論文は、多重化上でのラマン利得プロファイルの三角形近似を利用する。

【0006】 A. R. Chraplyvyによる「Optical power limits in multi-channel wavelength division multiplexed systems due to Stimulated Raman Scattering—誘導ラマン錯乱に起因する多重チャネル波長分割多重システムにおける光パワー限界」、Electronics Letters, vol. 2

0、No. 2 (1984)、pp. 58-59はまた、波長多重型伝送システムにおけるラマン利得の三角形近似を提案している。この論文の中で紹介されているモデルは、誘導ラマン効果による増幅によって生じる制限を評価するために使用することができる。この論文は、こうした増幅が提起する問題に対する解決策を提案していない。

【0007】T. Sylvestre等による「*Simulated Raman suppression under dual-frequency pumping in single mode fibers*」—単一モードファイバにおけるデュアル周波数ポンピング下での誘導ラマン抑制、*Electronics Letters*, vol. 34 No. 14 (1998)、pp. 1417-1418は、ファイバにおいてラマン効果によって引き起こされる周波数偏移の2倍の間隔を開けた2つのポンプを用いて偏光を防ぐ、モノモードファイバのポンピングによる、誘導ラマン効果による増幅の抑制の実験的アセンブリを記載している。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】したがって、波長多重型伝送システムにおける誘導ラマン効果による増幅に起因して発生するスペクトル傾斜の問題を解決することが可能な、簡単で効果的な解決策が必要となる。

【0009】本発明は、この問題への解決策を提案する。この方法は、既存のネットワークであっても、実施が簡単で、伝送に支障をきたさない。

【0010】

【課題を解決するための手段】より厳密には、本発明は、光ファイバによる波長多重型伝送システムであつて、波長の範囲内で信号を伝播させるファイバと、前記範囲より短い波長を有する少なくとも1つのポンプをファイバ内に注入する手段とを備え、ポンプの波長とパワーとが、前記の周波数範囲内で信号に誘導ラマン効果による増幅に起因して発生する傾斜を補正するように選択される、伝送システムを提案する。

【0011】好ましくは、波長の前記範囲の最も短い波長とポンプの波長との差は、10から15THzの間である。

【0012】一実施形態においては、注入手段は、前記信号の伝播方向にポンプを注入する。

【0013】他の実施形態においては、注入手段は、前記信号の伝播方向とは逆方向にポンプを注入する。

【0014】本発明はまた、光ファイバによる波長多重型伝送システムの信号の波長より短い波長で、少なくとも1つのポンプをファイバ内へ注入することを含む、ファイバ中の前記信号の伝播の間の、誘導ラマン効果による増幅に起因して発生する傾斜を補正するための方法を提案する。

【0015】好ましくは、前記信号の最も短い波長、ボ

10

ンプの波長との差は、10から15THzである。

【0016】実施形態においては、ポンプは前記信号の伝播方向に注入される。

【0017】他の実施形態においては、ポンプは、前記信号の伝播方向とは逆方向に注入される。

【0018】添付の図面を参照して、以下に例示的なものとして与えられる本発明の実施形態を説明することで、本発明の他の特徴及び利点が明らかになるだろう。

【0019】

【発明の実施の形態】本発明は、誘導ラマン効果による増幅に起因して発生するスペクトル傾斜を補正するためには、波長多重型伝送のために使用される波長よりも短い波長で、伝送システム内にポンプを注入することを提案する。

【0020】このポンプの誘導ラマン効果による増幅は、伝送システムの波長範囲内で利得の傾斜を補正することを可能にする。

【0021】図1は、R. H. Stolen (R. H. Stolen, proc. IEEE, 68, 1

20

232 (1980)) から抜粋したものだが、ラマン利得 (Raman gain) の概略を示している。縦座標は 10^{-13} m/W を単位とする利得を示す。横座標軸は、注入された信号の波長に対する、THzを単位とするスペクトル偏移である。この図は、利得の傾斜が、まず 13 THz の偏移までプラス方向であるが、その後マイナス方向になることを示している。ここでは先述した三角形が見られる。20 THz を超える偏移についてはラマン利得は小さく、 $0.2 \times 10^{-13} \text{ m/W}$ 未満である。

30

【0022】波長多重化システムにおいては、多重 (multiplex) の各チャネルが、この外観の利得を引き起こす。その結果、上述の利得の傾斜が変化する。この傾斜を解消するために、本発明は、多重の最も短い波長よりも短い波長でファイバ内にポンプを注入することを提案する。

【0023】ポンプは、ポンプによって引き起こされた誘導ラマン効果による増幅利得が、多重のチャネル上でラマン効果による増幅によって引き起こされた傾斜を補正することができるよう選択される。スペクトルと同様にポンプのパワーは、多重のチャネルのスペクトルの位置と補正すべき傾斜とに応じて選択される。得られた結果—傾斜の補正—は、図3及び4を参照して説明するように、信号のスペクトル上で測定される。

【0024】たとえば、多重のチャネルの最も短い波長よりおよそ 13 THz 短い波長でポンプを設置することができる。その結果、ポンプによって引き起こされるラマン利得のピークは、多重の第1チャネルの波長にほぼ対応し、ポンプのラマン利得は、多重の第1チャネル上で減少する。こうした減少は有利である。なぜなら、そこからラマン利得によって引き起こされる傾斜をより効

40

50

果的に補正できるからである。

【0025】このようなポンプによって、第1チャネルの波長よりおよそ7THzまたは50nm大きい周波数上で、多重の第1のチャネルにおいて、誘導ラマン効果による増幅に起因する傾斜を補正することが可能になる。

【0026】こうした補正を補うために、多重の第1のチャネルの波長により近い波長で、他のポンプを備えることもできる。ポンプのスペクトル位置と、それらのそれぞれのパワーに働きかけることによって、第1チャネルの波長より7THz大きい範囲においてのみならず、多重の第1チャネルの波長よりおよそ20THz大きい範囲まで、適切な補正を生じさせることができる。

【0027】このようにして、1530から1560nmの間のチャネルをともなう従来の波長の多重化伝送システムについて、1400から1450nmの間の波長の範囲で1つまたは複数のポンプを設置することも可能である。さらに、多重の最も短い波長より10から15THz短い波長でポンプを選択することも可能である。

【0028】ポンプは、波長多重化された信号と同時にリンク内に注入することができる。さらに、信号の前または後にポンプを注入することもできる。その場合、ポンプは共伝播型(*co-propagating*)である。ラマン効果はまた、反伝播型(*contra-propagating*)ポンプについて生じ、それらのポンプは信号とは逆方向に伝播される。さらに、このような反伝播型ポンプとともに本発明を実施することもできる。その場合、ポンプは、たとえばリンクの終わりに注入され、多重の最も短い波長のチャネルにおいて利得を増大させることによって、傾斜を補正する。

【0029】好ましくは、ポンプによって多重において生じるラマン効果と多重の固有のラマン効果を減結合することができるよう、リンク内のポンプの注入場所が選択される。いいかえれば、多重の最も短い波長においてポンプによって生じる利得が、多重の内側におけるラマン効果によってより長い波長に向かって短い波長からは移送されない、またはほとんど移送されないということが好ましい。そのための解決策は、多重の信号のパワーが減少した後にポンプを注入することである。したがって、リンクの終わりに位置する反伝播型ポンプを使用するのが好ましい。さらに、偏った共伝播型ポンプを使用することもできるが、この場合、ポンプはリンクの終わりまたは始めに置かれる。

【0030】ポンプを発生させ、それをファイバ内に注入するために、レーザ、カップラ、マルチブレクサ、サーチュレータなどといったそれ自体公知の手段が使用される。

【0031】本発明は、誘導ラマン効果による増幅に起因して発生する傾斜を非常に簡単に補正することができる。本発明によって、増幅器の利得を変更させる、また

は補正フィルタを設けることが必要でなくなる。提案された解決策は、増幅器のノイズに対する補正フィルタの影響を防ぐことができる。本発明はまた、フィルタをベースにした既存の解決策に対する追加利得を保証し、そのことからシステム内のノイズの蓄積が減少する。

【0032】図2は、32チャネルを有する本発明による波長多重型伝送システムにおける入力スペクトルの概略図である。縦座標はdBを単位とするパワーを表わし、横座標はnmを単位とする波長を表している。多重の種々のチャネルは、図2の例において3dBmと定められたほぼ等しいパワーである。多重の最も短いチャネルの波長より13THz短い波長をともなう、共伝播型ポンプが使用される。ポンプのパワーは、第1のチャネルにおける誘導ラマン効果による増幅に起因して発生する傾斜を補正するために調整される。実施例においては、伝送用ファイバにおけるポンプパワーは20dBmである。

【0033】図3及び4は、ポンプ信号をともなうまたはともなわない本発明の伝送システムにおける出力スペクトルの概略図である。縦座標は、任意の同じ基準に対して計算されたdBを単位とするパワーを表し、横座標はnmを単位とする波長を表している。図3及び4のスペクトルは、従来の100kmのモノモードドラインファイバを、図2に記載されているスペクトルを有する信号が伝播後に得られる。ポンプをともなわない場合には、図4で、もっとも短い波長のチャネルと最も長い波長のチャネルとの間のパワー差が1.2dBであることがわかる。このパワー差は、図3に示されているように、ポンプの存在によって0.08dBに減少する。この場合、ポンプは、パワーが20dBmで1439nmのポンプである。ポンプの存在によって、チャネルごとのパワーはファイバの出力においておよそ3dB大きくなる。ファイバの複数の区間を有するシステムにおいて、この光信号は、次の中継器の入力に注入される。パワーをより大きくすると、リンクの終わりに信号対雑音比を著しく改善する、すなわちエラー率を改善することができる。

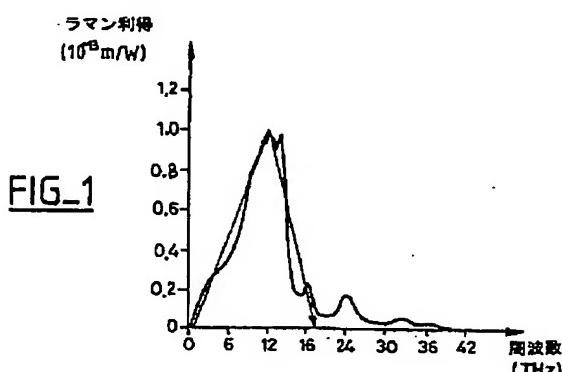
【0034】当然のことながら、本発明はここで図示され、上述した実施例及び実施形態に限定されるものではなく、当業者が実施可能な数多くの変形形態が考えられる。リンクの端だけでなく、より一般的にリンクのどこにでも1つまたは複数のポンプを注入することもできる。さらに、リンクの両端でポンプを使用することもできるだろう。

【0035】本発明はさらに、2つの中継器間の1つの区間または各区間に、中継器をともなうリンクと同様に、中継器をともなわないリンクにも適用される。
【図面の簡単な説明】
【図1】ラマン利得を概略的に示す図である。
【図2】本発明による波長多重型伝送システムにおける

入力スペクトルを概略的に示す図である。

【図3】本発明の伝送システムにおける出力スペクトルを概略的に示す図である。

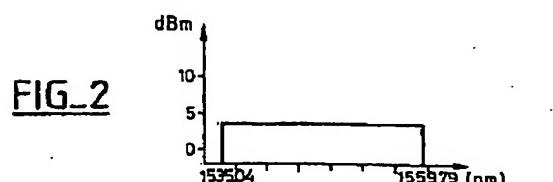
【図 1】



FIG_1

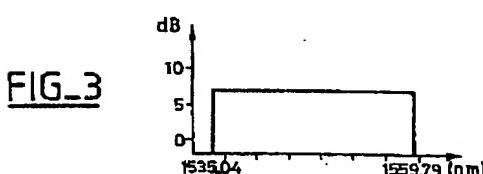
【図4】図3の伝送システムにおける出力スペクトルであるが、ポンプの信号を伴わない場合を概略的に示す図である。

【図 2】



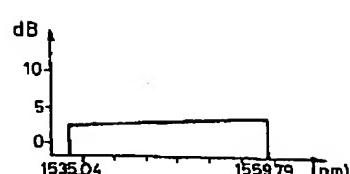
FIG_2

【図 3】



FIG_3

【図 4】



FIG_4

フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷

H 04 B 10/16
H 04 J 14/00
14/02

識別記号

F I

H 04 B 9/00

テマコード(参考)

E

(72) 発明者 ステファン・ゴシヤール

フランス国、92340・ブル・ラ・レーヌ、
リュ・ジヤン・メルモ・27